

На правах рукописи

**БОГОДУХОВ ПАВЕЛ МИХАЙЛОВИЧ**

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЭНТОМОФАУНЫ  
В САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЕ АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА  
(НА ПРИМЕРЕ г. ВОЛГОГРАДА)**

03.02.08 – Экология (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

Казань – 2013

**Работа выполнена** в отделе «Биологии древесных пород» ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации (ВНИАЛМИ) РАСХН

**Научный руководитель:** доктор биологических наук,  
профессор  
**Белицкая Мария Николаевна,**  
главный научный сотрудник,  
ВНИАЛМИ

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук,  
**Пономарёв Василий Иванович,**  
ФГУ Ботанический сад УРОРАН,  
зав. лабораторией лесовосстановления,  
защиты леса и лесопользования

доктор биологических наук  
**Мукминов Малик Нилович,**  
ФГОУ ВПО «Казанский (Приволжский)  
федеральный университет», профессор  
кафедры прикладной экологии

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВПО «Волгоградский  
государственный технический университет»

Защита состоится 19 декабря 2013 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета ДМ 212.081.19 при ФГОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18.

Факс: (843) 238-76-01; e-mail: attestat.otdel@ksu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) Федерального университета по адресу: г.Казань, ул. Кремлёвская, 35.

Автореферат разослан *13 ноября 2013 г.*

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Р.М. Зелеев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Рост промышленного производства и связанное с этим прогрессирующее антропогенное воздействие на окружающую среду приводит к повышению эксплуатации природных ресурсов и активному вмешательству в окружающую среду. Обострение экологической ситуации негативно сказывается на видовом составе и структуре сообществ насекомых населяющих санитарно-защитные зоны (СЗЗ).

Исследований, посвящённых изучению влияния разных уровней промышленного загрязнения на состояние энтомофауны, явно недостаточно. Без оценки биоразнообразия невозможно в полной мере предоставить себе общую картину влияния техногенной нагрузки на экологическое состояние территорий, прилегающих к крупным промышленным предприятиям (Манаенков, 2002; Лобачева, Гучанова, Фоменко, 2008). В этих условиях особую актуальность приобретает изучение комплекса экологических показателей населения насекомых в СЗЗ. Полученные данные служат основой для сохранения целостности и нормального функционирования населения насекомых зелёных насаждений (Сухарёва, 2004; Майдебур, 2006; Назаров, 2006).

Необходимость решения проблемы сохранения биоразнообразия, оценки и восстановления защитных лесных насаждений, снижения последствий антропогенного воздействия определяет актуальность избранной темы диссертационной работы.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы – изучить эколого-фаунистические особенности структуры и закономерности изменения сообществ насекомых, обитающих в насаждениях СЗЗ волгоградского алюминиевого завода.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить видовой состав и численное обилие населения насекомых;
- выявить закономерности изменения структуры и состава энтомофауны в СЗЗ;
- проанализировать особенности дифференциации населения насекомых в зависимости от уровня техногенного пресса на трансекте;
- обосновать возможности использования ряда семейств насекомых в качестве биоиндикаторов техногенного загрязнения;
- выявить ключевые факторы, влияющие на изменение равновесия энтомосообществ в условиях загрязнения.

**Научная новизна.** Впервые проведено комплексное исследование фауны насекомых в санитарно-защитной зоне волгоградского алюминиевого завода. Впервые подробно описан видовой состав населения в целом, выделены биотопические группы и охарактеризована зоогеографическая структура энтомосообществ.

На основе изучения структуры сообществ на участках с разным уровнем техногенного загрязнения выявлены основные особенности трансформации населения. Впервые показаны специфические реакции семейств *Curculionidae*,

*Cerambycidae*, *Chrysomelidae* на степень промышленного загрязнения. На основе энтропийного анализа дана оценка состояния и устойчивости сообществ насекомых в условиях загрязнения. Впервые для объяснения качественных изменений в составе сообществ насекомых доказана возможность использования принципа Ле-Шателье-Брауна.

**Теоретическое и практическое значение работы.** Материалы диссертации пополняют сведения о биоразнообразии урбанизированных экосистем на юго-востоке Европейской части РФ. Полученные результаты представляют интерес в плане познания особенностей формирования населения насекомых на загрязнённой промышленными выбросами территории. Данные о состоянии энтомокомплексов СЗЗ могут использоваться при мониторинге и прогнозировании предстоящих изменений. На основе полученных результатов возможна разработка рекомендаций по оценке воздействия промышленного предприятия на окружающую среду (процедура ОВОС), а также разработка рекомендаций по повышению резистентности и улучшению состояния энтомофауны на загрязнённой территории. Разработанные методические приемы по изучению действия химических и физических факторов на насекомых рекомендуется применять в научных исследованиях, в том числе, на кафедрах экологического профиля высших учебных заведений.

**Обоснованность и достоверность результатов и выводов** обеспечены многолетними комплексными исследованиями, проведёнными с использованием современных методов, обработкой и анализом собранного материала с помощью приложений MathCad и Statistica 7.

**Апробация работы.** Результаты исследований доложены и обсуждены на круглом столе «Эколого-экономические оценки регионального развития» (Волгоград, 2009), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология, эволюция, и систематика животных» (Рязань, 2009), I Международных Беккеровских чтениях (Волгоград, 2010), IV чтениях памяти лесного энтомолога О.А. Катаева «Фауна и экология насекомых-дендрофагов лесов Евразии» (Санкт-Петербург, 2010), V Молодёжной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука XXI века: новый подход» (Санкт-Петербург, 2013). Материалы диссертации внедрены в учебный процесс на кафедре биологии ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет».

**Декларация личного участия автора** состоит в постановке цели и задач исследования, сборе полевого материала в течение 2008-2012 годов. Обработка данных, их интерпретация и оформление осуществлены соискателем самостоятельно.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Изменяющиеся уровни техногенного загрязнения биотопов трансекты обуславливают неоднородность систематических групп, видового разнообразия, структуры и численных характеристик комплексов насекомых.

2. Уровень техногенного воздействия на санитарно-защитную зону стимулирует ответные реакции сообществ насекомых, реализующиеся преимущественно за счёт представителей *Coleoptera* (*Chrysomelidae*, *Curculionidae*, *Cerambycidae*), *Heteroptera* (*Pentatomidae*, *Miridae*) и *Homoptera* (*Cicadellidae*, *Aphrophoridae*).
3. Информационные показатели указывают на неупорядоченность структурной организации энтомофауны СЗЗ на расстоянии до 2000м от источника выбросов, демонстрируют её глубокую деградацию на 500м и повышение структурного запаса населения насекомых уже на 3000м.

**Публикации:** по материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 3 работы – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Структура диссертации.** Работа состоит из введения, 6 глав, выводов, списка цитируемой литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 150 страницах, включает 10 таблиц и 20 рисунков; приложения изложены на 17 страницах и содержит 2 таблицы. Список литературы включает 190 источников из них 49 на иностранных языках.

**Благодарности.** Выражаю глубокую благодарность научному руководителю д.б.н., проф. М.Н. Белицкой за всестороннюю поддержку и конструктивную помощь. Выражаю благодарность энтомологам д.б.н. С.Ю. Синёву, заведующему лабораторией систематики насекомых, и сотрудникам ЗИН РАН к.б.н. А.В. Ковалёву, к.б.н. В.М. Гнездилову, к.б.н. А.Ю. Матову, к.б.н. Д.М. Астахову – за подтверждение определения видовой принадлежности насекомых. Искренне благодарен д.б.н. проф. В.А. Сагалаеву (ВолГУ) за консультации при определении растений и к.б.н. И.В. Манаенкову за предоставленные материалы по загрязнению поллютантами санитарно-защитной зоны волгоградского алюминиевого завода.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ГЛАВА 1. НАСЕКОМЫЕ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Глава содержит данные об основной литературе и направлении современных исследований по вопросам влияния техногенного загрязнения на фауну и экологию насекомых. Приведён обзор исследований, касающихся особенностей выбросов производства алюминия и их воздушного распространения. Рассмотрены работы, связанные с изучением экологических последствий в зоне влияния Волгоградского алюминиевого завода. Отмечены особенности формирования видового состава и структуры энтомофауны в условиях воздействия поллютантов, а также возможности использования насекомых в качестве индикаторов уровня загрязнения среды промышленными выбросами.

## ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

### Физико-географическая характеристика района исследований

Волгоград – один из крупнейших промышленных городов юга России, расположенный на правом восточном склоне Приволжской возвышенности, и берегу реки Волги. Волжский склон расчленяется многочисленными балками, оврагами и речной сетью, впадающими в Волгу. Характерной чертой климата пригородной зоны Волгограда является континентальность с большой амплитудой колебаний температур годового цикла, достигающей в юго-восточном районе около 80-90°C. Зима короткая, умеренно холодная, малоснежная. Весна и осень чрезвычайно короткие, засушливые. Лето длинное, тёплое, сухое. Имеют место резкие колебания месячных и суточных температур. Среднегодовая температура 5,5 – 8,0°C. Наиболее низкая температура наблюдается в январе (до -37 - -40°C). Среднегодовое количество осадков, по многолетним данным, на юге колеблется в пределах 270-330мм, на северо-западе 400-450мм. За период с апреля по октябрь выпадает 2/3 годовой суммы осадков. Летние осадки часто выпадают в виде ливней, что ведёт к сбросу их в понижения и к незначительной аккумуляции почвогрунтами. Испаряемость значительно превышает количество выпадающих осадков, достигая в Волгограде 1000мм.

Засушливость климата определяет развитие бедной растительности и распространение малоплодородных светло-каштановых почв, отличающихся неблагоприятными водными и физико-химическими свойствами.

### Особенности загрязнения окружающей среды и состояние насаждений в санитарно-защитной зоне

Выбросы ОАО «Волгоградский алюминий» распространяются на территории от 200м до 3000м. В соответствии с концентрацией токсикантов (Манаенков, 2002) и комплексного показателя загрязнения (Костюкова, Юркъян, 1997; Селиховкин, 2011) выделены пять зон, отличающихся по уровню загрязнения: очень сильное, сильное, умеренное, слабое и контроль – вне влияния выбросов (рис. 1).

В насаждениях СЗЗ алюминиевого завода представлены следующие породы: вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), робиния лжеакация (*Robinia pseudacacia* L.), клён ясенелистный (*Acer negundo* L.), ясень зелёный (*Fraxinus lanceolata* Borkh.), тополь чёрный (*Populus nigra* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), яблоня лесная (*Malus sylvestris* Mill.), абрикос обыкновенный (*Armeniaca vulgaris* Lam.), смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), гледичия обыкновенная (*Gleditsia triacanthos* L.). В процессе исследования было проанализировано состояние 2430 экземпляров древесных растений.

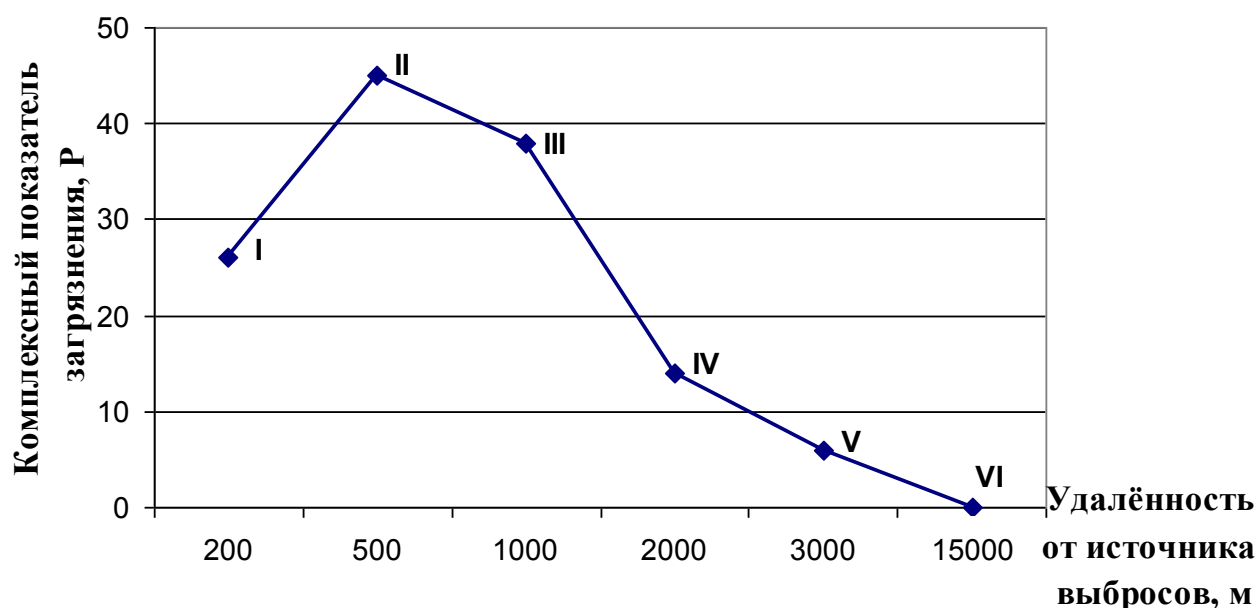


Рисунок 1. Распределение загрязнения участков санитарно-защитной зоны ОАО «Волгоградский алюминий» по И.В. Манаенкову (2002).

Уровни загрязнения: II – очень сильное, I, III – сильное загрязнение, IV – умеренное, V- слабое, VI - контроль

Минимальное токсическое действие поллютантов на древостой наблюдается на расстоянии 200м от источника, где преобладают здоровые деревья (до 46%) (рис. 2). Наиболее выражено токсическое воздействие промышленных выбросов на растения в биотопе, расположенном на расстоянии 500м от источника выбросов. Здесь более 56% деревьев находится в стадии усыхания или сильного ослабления, тогда как на долю экземпляров без признаков ослабления приходится менее 7%.

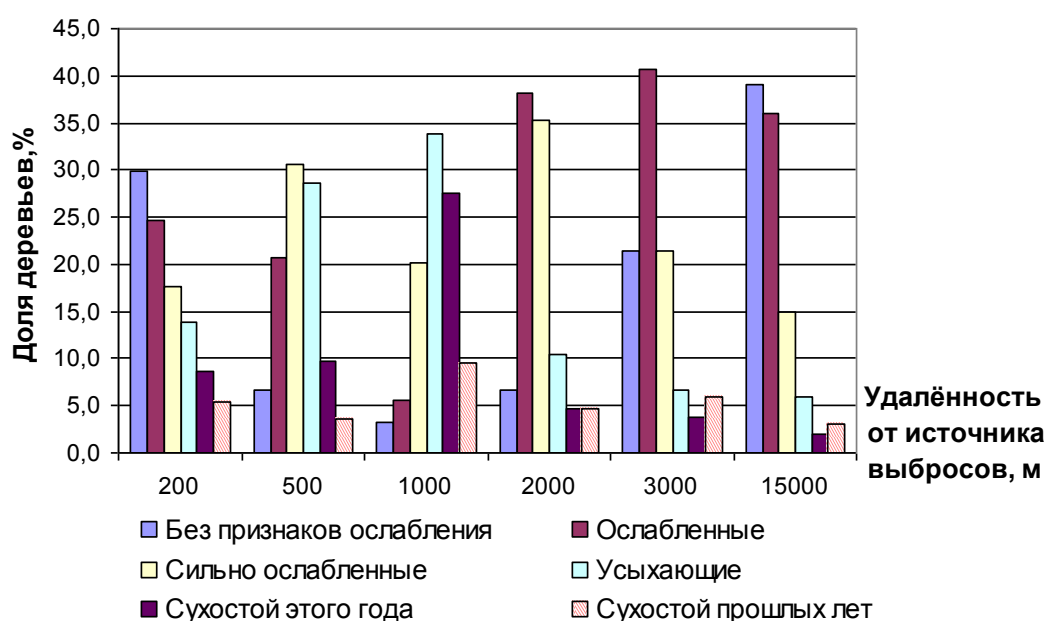


Рисунок 2. Изменение состояния деревьев на трансекте

При движении далее по трансекте, начиная с 1000м, в насаждениях отмечено уменьшение числа усыхающих и сухостойных деревьев, а участие деревьев без признаков ослабления возрастает до 39% (15000м).

### **ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования проводили в 2008 – 2012 гг. на постоянных пробных площадках, заложенных по принципу экологической трансекты (Соколов, Стриганова, 1998; Стриганова, Порядина, 2005). Учётные площадки на трансекте располагались в разных зонах загрязнения: на расстоянии 200м, 500м, 1000м, 2000м, 3000м от источника загрязнения и в контроле – на расстоянии 15000 м.

Особенности загрязнения атмосферы проанализированы с применением комплексного показателя загрязнения (Р), применяемого при воздействии на окружающую среду нескольких загрязняющих веществ. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха произведена по стандартной шкале (Костюкова, Юркьян, 1997).

Сбор материала осуществляли с использованием общепринятых методик В.Ф. Палий (1970), К.К. Фасулати (1971), «Рекомендаций по надзору...» (1984). Точность средних показателей численности сообществ рассчитана с достоверностью 95%.

Изучение энтомосообществ осуществляли с использованием следующих показателей: видовой состав, численность, ареалогическая принадлежность, трофическая специализация и пищевые предпочтения, особенности доминирования в зонах разной техногенной нагрузки.

Степень доминирования определялась в соответствии со шкалой доминирования (Southwood, 1978). Выделены следующие классы обилия: свыше 25% – виды-супердоминанты, 10 – 25% – доминантные (массовые) виды, 5 – 10% – субдоминантные, менее 5% – резидентные.

Анализ структуры энтомокомплексов выполняли путём расчёта индексов, использующихся при оценке сходства и различий сообществ на основе видового состава, численности особей и выравненности (Мэггаран, 1992). Биотопическое сходство энтомокомплексов оценивалось с использованием коэффициента Жаккара (Jaccard, 1901).

Для анализа данных, характеризующих влияние техногенного загрязнения на энтомокомплексы, использовали: метод информационного анализа (Гайдышев, 2001), и принцип Ле-Шателье-Брауна (Тарко, 1995).

### **ГЛАВА 4. ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНТОМОФАУНЫ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА**

В СЗЗ данного предприятия нами зарегистрирован 201 вид насекомых из 10 отрядов и 68 семейств. Всего было собрано более 14 320 особей насекомых.



Лидирующее место по разнообразию видового состава энтомофауны СЗЗ приходится на долю отряда *Coleoptera* – 97 видов (48,3% от общего числа видов), относящихся к 17 семействам (рис. 3).

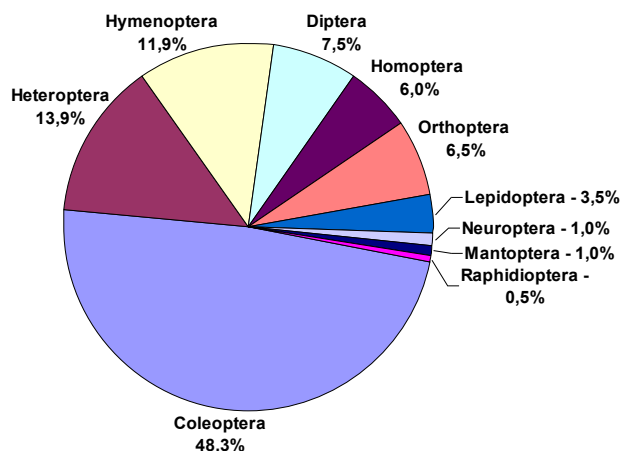


Рисунок 3. Состав энтомофауны на загрязнённой территории

Далее в порядке убывания располагаются отряды *Heteroptera* (28 видов из 9 семейств), *Hymenoptera* (15 семейств и 24 вида), *Diptera* (15 видов, 8 семейств), *Homoptera* (12 видов, 3 семейства), *Orthoptera* (13 видов, 2 семейства). Отряды *Lepidoptera*, *Neuroptera*, *Mantoptera* и *Raphidioptera* – представлены весьма немногочисленно.

## ГЛАВА 5. СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЭНТОМОФАУНЫ В СЗЗ

### Особенности изменений видового состава и численного обилия

В ходе наблюдений обнаружилась неоднородность видового состава и численности насекомых в энтомокомплексах загрязнённых биотопов (рис.4). Наименее разнообразно сообщество насекомых в зоне максимального загрязнения (500м). Здесь на протяжении трёх лет обнаружено только 74 вида насекомых при средней плотности населения –  $5,9 \pm 0,65$  особей/м<sup>2</sup>.

По мере удаления от источника загрязнения происходит увеличение числа видов. Так, уже в зоне сильного загрязнения (1000м) состав сообщества насекомых возрастает до 84 видов, (на 12%), на 2000м – до 107 видов (на 31%), на 3000м – до 119 видов (на 38%). Наблюдениями выявлена весьма интересная особенность в распределении насекомых на трансекте. Так, в биотопе, расположенном на расстоянии 200 метров от источника загрязнения, отмечено 94 вида насекомых, что на 21% больше, чем в зоне максимального загрязнения (500м).



Рисунок 4. Изменение видового состава и численности (шт/ед.укоса) энтомокомплексов при удалении от источника загрязнения

Плотность населения насекомых изменяется с той же закономерностью, что и видовое разнообразие, и возрастает по мере увеличения расстояния от биотопа 500м: на 1000м –  $8,65 \pm 0,94$  шт/м<sup>2</sup>, 2000м -  $9,05 \pm 0,95$  шт/м<sup>2</sup>, 3000м –  $9,55 \pm 1,05$  шт/м<sup>2</sup>. На расстоянии 200м, как и в отношении видового обилия, значение показателя несколько выше, чем на 500м, и составляет  $8,2 \pm 0,9$  шт/м<sup>2</sup>. В контроле зафиксировано 102 вида насекомых при средней плотности  $9,1 \pm 0,94$  шт/м<sup>2</sup>.

Качественный состав населения насекомых в годы исследований в СЗЗ был неодинаков и изменялся в зависимости от приближенности биотопа к источнику загрязнения. Так, участие видов встреченных на загрязнённой территории (до 3000м от завода включительно) во все три года не превышало 14% всего состава энтомофауны, тогда как в контроле (15000м) данный показатель выше почти в два раза и составляет (31%) (рис. 5).

Количество видов, встреченных в течение двух сезонов, в зонах техногенного воздействия колеблется от 23% до 29%. При этом наблюдается постепенное возрастание их встречаемости по мере снижения степени техногенного воздействия. Абсолютное число видов в биотопе наиболее приближённом к источнику загрязнения (200м) выше, чем в зоне сильного загрязнения (500м). В контроле на долю видов, встреченных в течение двух сезонов, приходится 32%. Так, в зоне максимального загрязнения к числу насекомых с двухлетней встречаемостью относится 19 видов.

В контрольном биотопе доля устойчиво встречающихся видов в течение 2-3 лет составила около 63%. В зоне низкого загрязнения (3000м от завода) – она фиксируется на уровне 43%. В зоне умеренного загрязнения (2000м) – 40%, в зоне сильного загрязнения (1000м) – 38%. Для зоны максимального загрязнения (500м) значение данного показателя составляет 35%. Представляет интерес население насекомых биотопа на расстоянии 200м от завода. Здесь при уровне загрязнения, оцениваемом как «сильное» и соответствующем таковому в биотопе расположенном на расстоянии 1000м от завода, обнаруживается

весьма низкая стабильность видового состава насекомых (35% обнаруженных видов), близкая к значению, описанному для зоны максимального загрязнения (500м).

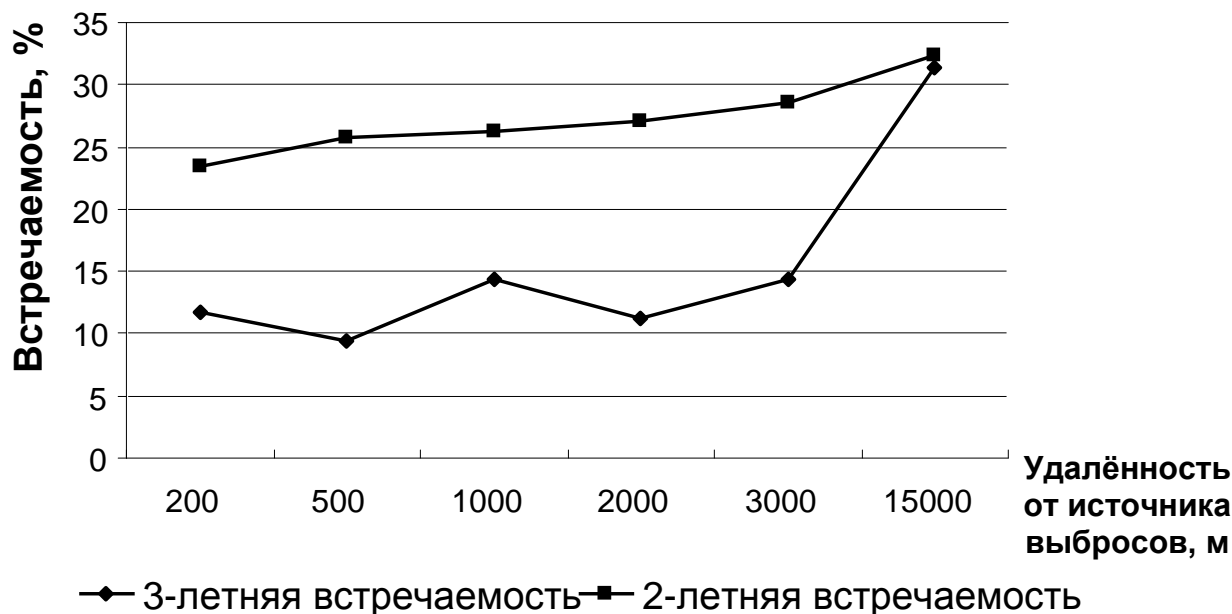


Рисунок 5. Доля видов насекомых с 3-х и 2-летней встречаемостью

Полученные данные позволяют утверждать, что в случае с Волгоградским алюминиевым заводом, аэротехногенные выбросы предприятия увеличивают временную динамику изменений видового состава энтомокомплексов СЗЗ почти в 2 раза в сравнении с таковым вне влияния поллютантов.

Под действием техногенного загрязнения для ряда видов насекомых зафиксировано мозаичное распределение по территории (рис. 6). Так в энтомокомплексе биотопа на расстоянии 500м от источника выбросов присутствует 31 вид насекомых, отмеченных и для других биотопов. В отличие от местообитания 200м в нём отсутствуют следующие виды: *Pachybrachis hieroglyphicus* Laich., *Mylabris quadripunctata* L., *Eobroscus* sp., *Eurydema ornata* L., *Dicyphus globulifer* Fall., *Asilus albiceps* Mg. Указанные насекомые присутствуют в составе энтомокомплексов всех остальных территорий.

В биотопе на расстоянии 1000м от источника загрязнения этот список обогащается ещё 5 видами: *Hycleus polymorphus* Pall., *Mylabris pusilla* Ol., *Tychius subsulcatus* Tournier, *Cylindromorphus filum* Gyll., *Henicopus pilosus* Scop. Этих насекомых, по нашему мнению, можно считать менее приспособленными к техногенному загрязнению, чем предыдущую группу. Особенностью видового обилия энтомокомплексов в зоне умеренного загрязнения (2000м) является наличие в их составе: *Adonia variegata* Goeze, *Paraplagionotus floralis* Pall. и *Andrena* sp., которые не были отмечены в сообществах с более высоким техногенным прессом.

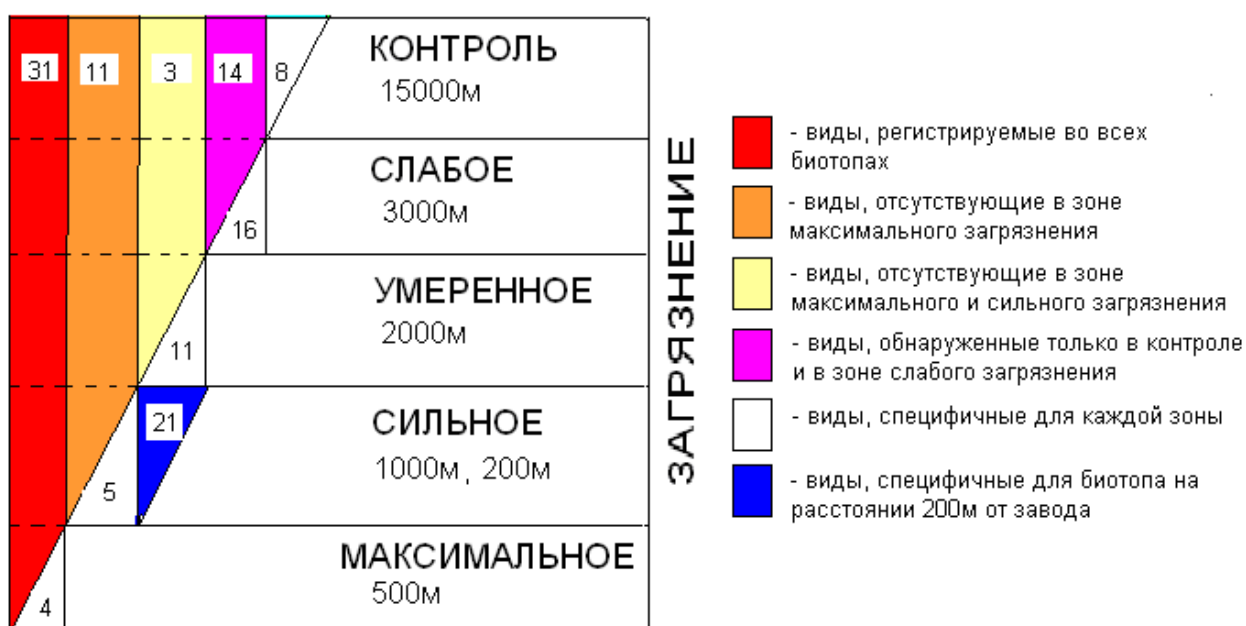


Рисунок 6. Особенности пространственного распределения насекомых на загрязнённой территории

В условиях слабого загрязнения среды поллютантами (3000м) происходит значительное расширение видового богатства энтомонаселения — по сравнению с предыдущим биотопом здесь обнаруживается ещё 14 видов насекомых с техногенно обусловленной пространственной мозаичностью ареала: *Cryptocephalus virens* Suffr., *Oulema melanopus* L., *Melasoma lapponicum* L., *Anomala marginata* F., *Caulomorphus lederi* L., *Rhinusa linariae* Pz., *Coccinella decempunctata* L., *Agapanthia violacea* F., *Aphanisticus pusillus* Olivier, *Agrilus viridis* L., *Aelia klugi* Hahn, *Dictyophara multireticulata* Mulsant et Rey, *Sphex* sp., *Cephus* sp. Сообщество насекомых в контроле представлено видами, которые не переносят даже минимального техногенного воздействия. В его состав входят: *Cryptocephalus sarafschanensis tiro* Weise, *Rhinocyllus conicus* Froel., *Propylea quatuordecimpunctata* L., *Gaurotes virginea* L., *Stenopterus ater* L., *Mordella* sp., *Cymindis* sp., *Alomia* sp.

### Зоогеографическая структура энтомофауны

Зоогеографическая структура населения насекомых на загрязнённой территории представлена в основном палеарктическими и голарктическими видами (более 70%). Доля палеарктических видов наиболее богата и составляет 44,3% от общего количества видов.

Преобладание палеарктических видов связано, с особенным положением района исследований, который находясь в узком участке зоны Центрально-Азиатской зоогеографической подобласти, испытывает влияние фаун как Кругобореальной, так и Средиземноморской подобластей Голарктики.

Представляет интерес характер локализации зоогеографических групп насекомых на загрязнённой территории. Так, палеарктические виды

сконцентрированы в контроле (15000м) и в зоне слабого загрязнения (3000м) (табл. 1). Наименее представлена данная группа в зоне максимального загрязнения (500м) – на 13,6% ниже по сравнению с контролем. В составе энтомокомплексов других биотопов участие палеарктических видов уменьшается в меньшей степени – 4,5–7,1%. Данная группа включает следующие виды: *Mylabris quadripunctata* L., *Mordellistena tarsata* Muls., *Dasytiscus indutus* Ksw., *Aphthona beckeri* Jacobs., *Coccinella septempunctata* L., *Iraphocraerus ventralis* L. и другие.

Иная картина выявлена в отношении голарктических видов, которые более устойчивы к меняющимся экологическим условиям. Эти насекомые доминируют (36,4%) в сообществе, населяющем максимально загрязнённый биотоп. По мере снижения техногенного пресса доля этой группы в локальных сообществах изменяется на 6,4–9,1%. Особенно ярко это проявляется в биотопе, расположенном на расстоянии 200м от источника выбросов. Состав голарктических видов постоянен и представлен *Entomoscelis adonidis* Pall., *Apion hookeri* Kby., *Coccinella quinquepunctata* L., *Dicyphus globulifer* Fall., *Lepironia coleoprata* L., *Oscinella pusilla* Mg.

Т а б л и ц а 1.

**Соотношение зоогеографических групп  
насекомых в сообществах, %.**

<b>Зоогеографические группы</b>	<b>200м</b>	<b>500м</b>	<b>1000м</b>	<b>2000м</b>	<b>3000м</b>	<b>15000м</b>
Голарктическая	27,3	36,4	28,6	28,6	30,0	30,0
Палеарктическая	45,5	36,4	42,9	42,9	50,0	50,0
Южноевропейско-Сибирская	–	–	7,1	7,1	–	–
Европейская	9,1	–	7,1	7,1	10,0	–
Южноевропейская	9,1	9,1	7,1	–	–	10,0
Южноевропейско-Западноазиатская	–	–	–	–	10,0	–
Южноевропейско-Азиатская	–	18,2	7,1	7,1	–	10,0
Южноевропейско-Южносибирская	9,1	–	–	7,1	–	–

Другие зоогеографические группы представлены на загрязнённой территории небольшим числом видов и встречаются лишь в отдельных биотопах. Так, южноевропейско-сибирский вид *Poecilimon intermedius* Fieb. тяготеет к биотопам на расстоянии 200м и 2000м от источника загрязнения. Европейский вид *Orthotylus tenellus* Fall. заселяет все зоны, за исключением контрольной и максимально загрязнённой. Южноевропейский вид *Brachycoleus decolor* Reut. отсутствует в зонах умеренного и слабого загрязнения.

## Трофическая структура

Трофическая структура энтомофауны на загрязнённой промышленными выбросами территории характеризуется высоким видовым (142 вида, 70,6%) и численным (79,1%) обилием фитофагов. Среди них доминируют листогрызущие насекомые (81 вид, 40,3% видового обилия). По плотности особей выделяются *Entomoscelis adonidis* Pall., *Apion hookeri* Kirby. В несколько меньшей степени здесь представлены сосущие насекомые (46 видов, 22,9% видового обилия). Наиболее многочисленны из них *Scorlupella montana* Beck., *Macropsis mendax* Fieb., *Iraphocraerus ventralis* L., *Macrosteles laevis* Rib., *Brachycoleus decolor* Reut., *Dicyphus globulifer* Fall.

Группа энтомофагов представлена в сообществе 59 видами. На их долю приходится 29,4% видового и 20,9% численного обилия. Большим видовым разнообразием отличается группа хищных насекомых. Она представлена 50 видами, относящимися к 18 семействам (24,9% видового обилия).

Наиболее бедны по составу паразитические насекомые (5,5%), представленные семействами *Tachinidae*, *Braconidae*, *Chrysididae*, *Cleptidae*, *Ichneumonidae*. Последние в видовом отношении наиболее разнообразны (5 видов).

Неравномерная степень загрязнения биотопов территории неоднозначно сказывается на трофической структуре населяющих их энтомосообществ. Так, в биотопе, расположенном на расстоянии 500м от источника загрязнения на долю фитофагов приходится 62,2% видового состава. Это на 6,4% ниже по сравнению с контролем. В данной трофической группе доминируют *Homoptera*. Эти насекомые наиболее устойчивы к фтористому загрязнению ввиду особенностей типа питания.

В зоне сильного загрязнения (1000м) доля фитофагов возрастает почти на 14%. Как и в предыдущем биотопе здесь преобладают сосущие насекомые (рис. 7). На остальной территории доминирующее положение занимают листогрызущие вредители.

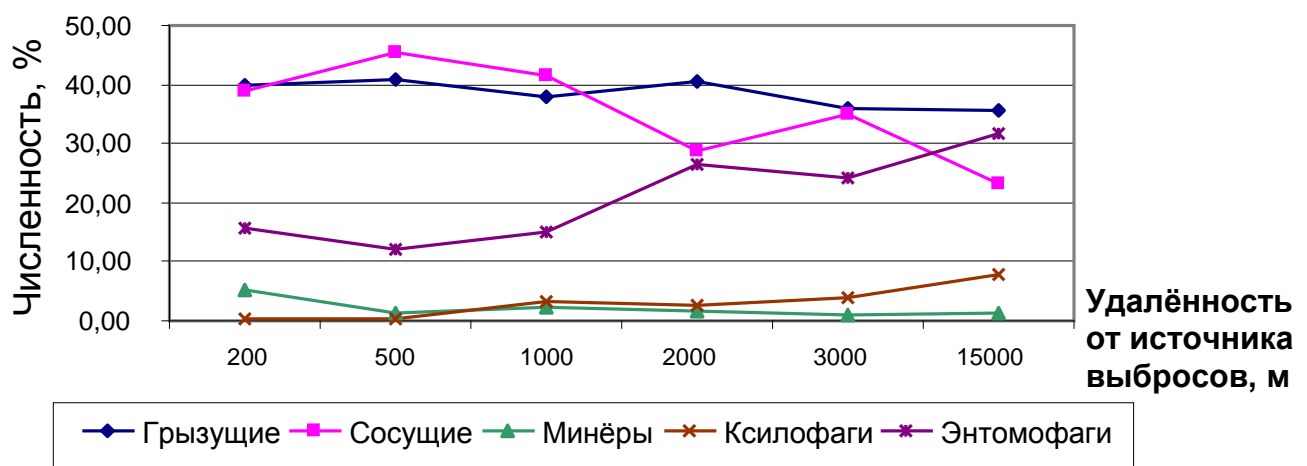


Рисунок 7. Участие трофических групп насекомых в составе сообществ, %

Долевое участие ксилофагов в составе энтомокомплексов хотя и мало (от 0,4 до 8,0%), но на всём протяжении трансекты заметно возрастает по мере удаления от источника загрязнения. В первую очередь это проявляется среди представителей семейства *Cerambycidae*, наиболее чувствительного к наличию в среде поллютантов. Минёры тяготеют более к зоне непосредственной близости к заводу (200м).

Для энтомофагов отмечено тяготение паразитических форм к загрязнённым биотопам и снижение в таких биотопах долевого участия хищников.

### Структура доминирования

В изученных биотопах выявлено 5 доминантных (*Scorlupella montana* Beck., *Macropsis mendax* Fieb., *Iraphocraerus ventralis* L., *Macrosteles laevis* Rib., *Entomoscelis adonidis* Pall.) и 13 субдоминантных (*Brachycoleus decolor* Reut., *Dicyphus globulifer* Fall., *Apion hookeri* Kirby, *Lepironia coleoprata* L., *Aphthona* sp., *Calliptamus barbarus* Costa, *Poecilimon intermedius* Fieb., *Mylabris quadripunctata* L., *Coccinella quinquepunctata* L., *Mordellistena tarsata* Muls., *Oscinella pusilla* Mg., *Orthotylus tenellus* Fall., *Dasytiscus indutus* Ksw.) видов насекомых. В совокупности они составляют 7,0% от видового разнообразия сообщества и свыше 58% от числа всех особей. В формировании таксономической структуры населения насекомых на трансекте ведущую роль играет отряд *Homoptera*. Доминирующие виды распределены на территории неравномерно. Так, по численному обилию *Scorlupella montana* Beck. преобладал в зоне максимального загрязнения – 500м, *Macropsis mendax* Fieb. – 1000м, *Iraphocraerus ventralis* L. – 2000м и 15000м, *Macrosteles laevis* Rib. – 3000м. На расстоянии 200м от источника загрязнения численное превосходство принадлежит виду *Entomoscelis adonidis* Pall (*Coleoptera*).

По мере увеличения техногенного загрязнения снижается участие в сообществах таких видов, как *Coccinella quinquepunctata* L., *Mordellistena* Costa sp., *Iraphocraerus ventralis* L.. В то же время, повышается доля *Scorlupella montana* Besc., *Lepironia coleoprata* L., *Brachycoleus decolor* Reut., *Apion hookeri* Kirby., *Poecilimon intermedius* Fieb., *Calliptamus barbarus* Costa.

Интерес представляет тот факт, что на расстоянии 200м от источника выбросов группа субдоминантов включает только два вида семейства *Miridae*: *Brachycoleus decolor* Reut. и *Dicyphus globulifer* Fall.

### Экологическое разнообразие

Разнообразие сообществ насекомых в условиях градиента концентрации поллютантов изменяется в широких пределах. Расчёт индексов разнообразия показал, что колебания видового разнообразия насекомых тесно связаны с уровнем техногенной нагрузки. Наиболее показательными в отношении индикации состояния видового разнообразия оказались индексы Маргалефа и Шеннона (рис. 8).

Индексы имеют наиболее высокие значения в участках с высоким видовым

богатством (3000м, 2000м и контроль). Индекс Шеннона в большинстве биотопов колеблется в пределах 4,5–5,5, за исключением участка с максимальным уровнем загрязнения (500м), где он снижается до 3,4 за счёт неравномерности распределения отдельных видов.

Индекс Маргалефа, отражающий видовое богатство, демонстрирует чувствительность энтомофауны к загрязнению уже в условиях сильного загрязнения (200м и 1000м) – 12,8 и 11,3 соответственно. Минимальное значение показателя зафиксировано в биотопе с максимальным уровнем загрязнения (500м), где видовое разнообразие снижено. Анализируя данные показателей энтомокомплексов, можно заметить, что при переходе от зоны максимального загрязнения в зону сильного загрязнения видовое разнообразие увеличивается значительнее (на 21 %), чем выравненность (всего на 5%). Это явление позволяет сделать вывод о том, что на расстоянии 500м от источника загрязнения имеет место снижение выравненности проб на фоне относительного сохранения видового разнообразия.

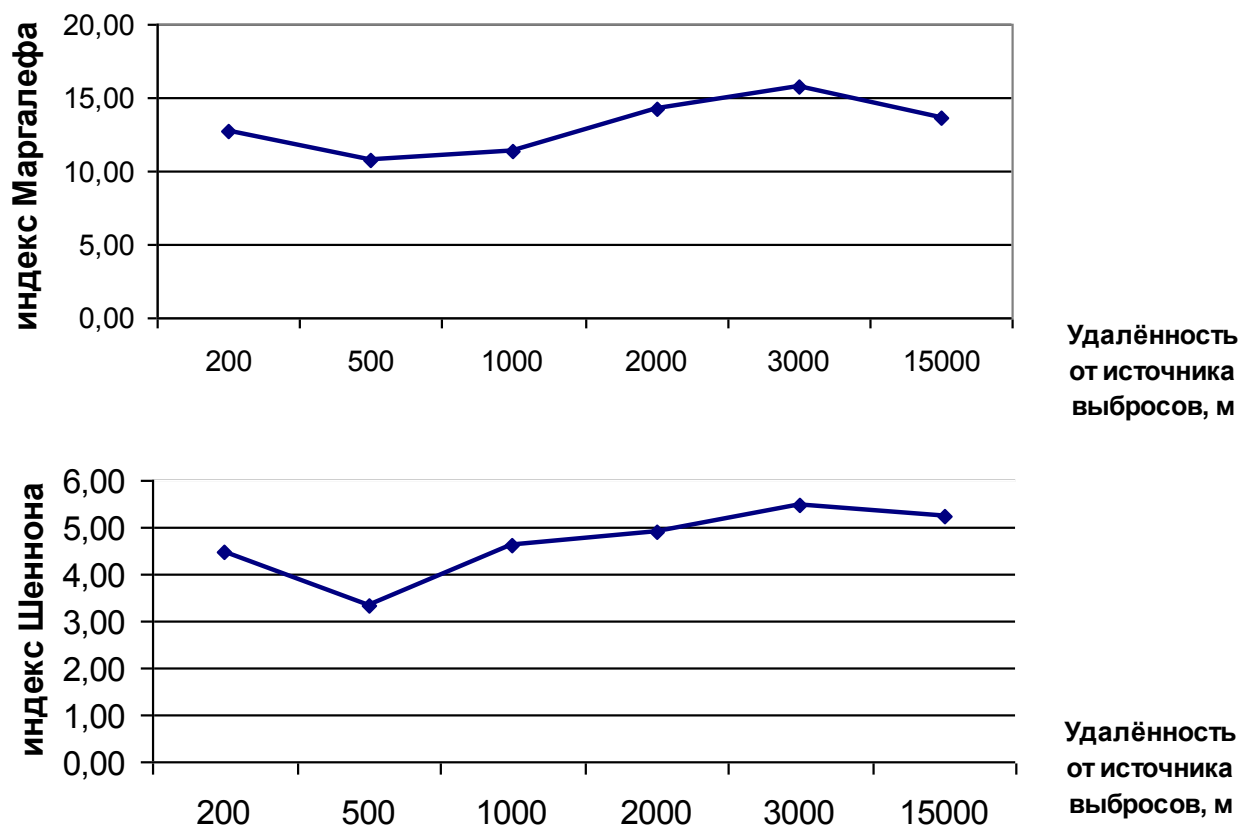


Рисунок 8. Структурные характеристики локальных сообществ

Представление о качественных различиях энтомокомплексов биотопов в составе транsekты было составлено на основе расчета индекса Жаккара (рис. 9). Наиболее схожа с контролем станция, удалённая от источника загрязнения 3000м. Коэффициент Жаккара для них составляет от 0,57.



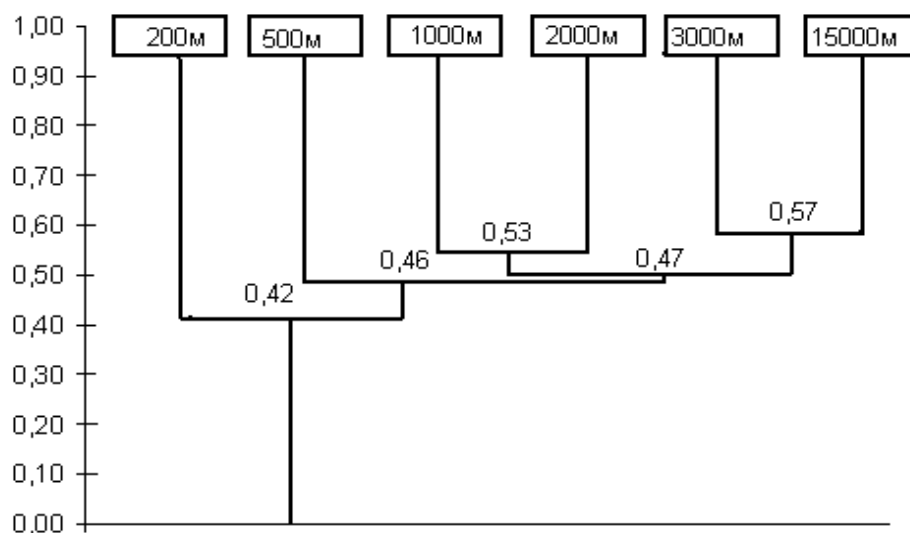


Рисунок 9. Дендрограмма фаунистического сходства энтомокомплексов (по коэффициенту Жаккара)

Несколько меньшее сходство с контролем характерно для кластера, включающего население насекомых биотопов, расположенных на 1000м и 2000м от источника выбросов. Сходство последних между собой составляет 0,53. Значительно отличается от других энтомокомплексов сообщество на расстоянии 500м от завода (0,46). Минимальным сходством с другими сообществами характеризуется население насекомых биотопа 200м (0,42).

## ГЛАВА 6. ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНТОМОФАУНЫ К ВЫБРОСАМ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

### Оценка на основе энтропийного анализа и принципа Ле-Шателье

Структура населения насекомых и фактор загрязнения на каждой точке трансекты составляют единую систему, пребывающую в состоянии динамического равновесия. Совокупная степень отклонений состояния энтомофауны в биотопах от контроля характеризуется степенью неупорядоченности системы (энтропией,  $H$ ), вызванной воздействием неодинакового уровня загрязнения (табл. 2). С другой стороны, для системы, находящейся в устойчивом равновесии, справедливо использовать принцип Ле-Шателье – Брауна (Тарко, 1995), согласно которому, внешнее воздействие, изменяющее какое-либо из условий равновесия, вызывает в системе процессы, направленные на компенсацию этого воздействия, что позволяет отметить качественные реакции энтомофауны на уровень загрязнения.

В рамках одного параметра изменение уровня энтропии системы является индикатором действия принципа Ле-Шателье - Брауна как свойства, в качестве реакции на воздействие поллютантов. Различные дозы загрязняющих веществ, действующих на биосистему, вызывают реализацию в системе определённых

компенсаторных механизмов, которые в различной степени снижают влияние вредных воздействий на население насекомых. В нашем случае химическая энергия загрязняющих веществ, сначала ослабляя низшие элементы пищевых цепей, позволяет высшим звеньям этой цепи (насекомым) использовать объекты питания с меньшими затратами энергии. Этим объясняется стимулирующее влияние малых доз загрязнения на численность консументов первого и последующих порядков. При этом происходит некоторое увеличение количества видов в системе и их численности. Далее численность особей начинает снижаться, будучи угнетаема усиливающимся воздействием поллютантов, а последующее увеличение загрязнения в системе начинает негативно отражаться на числе слагающих её видов. В конечном варианте система перестаёт существовать.

Определить способ реакции экосистемы для каждой станции можно посредством расчёта показателя энтропийной эквивокации ( $e$ ).

Т а б л и ц а 2

**Информационные характеристики  
сообществ насекомых в биотопах трансекты**

Расстояние от источника загрязнения, м	Показатель	Структурная энтропия $H$ , нит	Относительная энтропия $h$ , нат	Коэф.-т избыточности $R$ , %	Эквивокация $e$ , нат	Информ. показатель влияния загрязнения (ИПВ)
<b>200</b>	S	3,05	0,67	33	0,46	0,15
	N	2,77	0,54	46	0,51	0,18
<b>500</b>	S	4,75	1,10	-10	2,16	0,45
	N	5,03	1,05	-5	2,77	0,55
<b>1000</b>	S	3,78	0,85	15	1,18	0,31
	N	2,49	0,48	52	0,22	0,09
<b>2000</b>	S	2,35	0,50	50	-0,24	-0,10
	N	2,26	0,44	56	0	0
<b>3000</b>	S	1,87	0,39	61	-0,72	-0,39
	N	0,22	0,04	96	-2,04	-9,15
<b>Контроль</b>	S	2,60	0,56	44	-	-
	N	2,26	0,44	56	-	-

(S – количество видов, N – численность особей в выборке).

При  $|e(N)| > |e(S)|$  определяющей реакцией системы является изменение численности особей. Если же  $|e(N)| < |e(S)|$ , то система реагирует изменением количества видов. Существуют четыре модальные реакции сообщества насекомых в ответ на действие различных доз загрязнения (рис. 10):

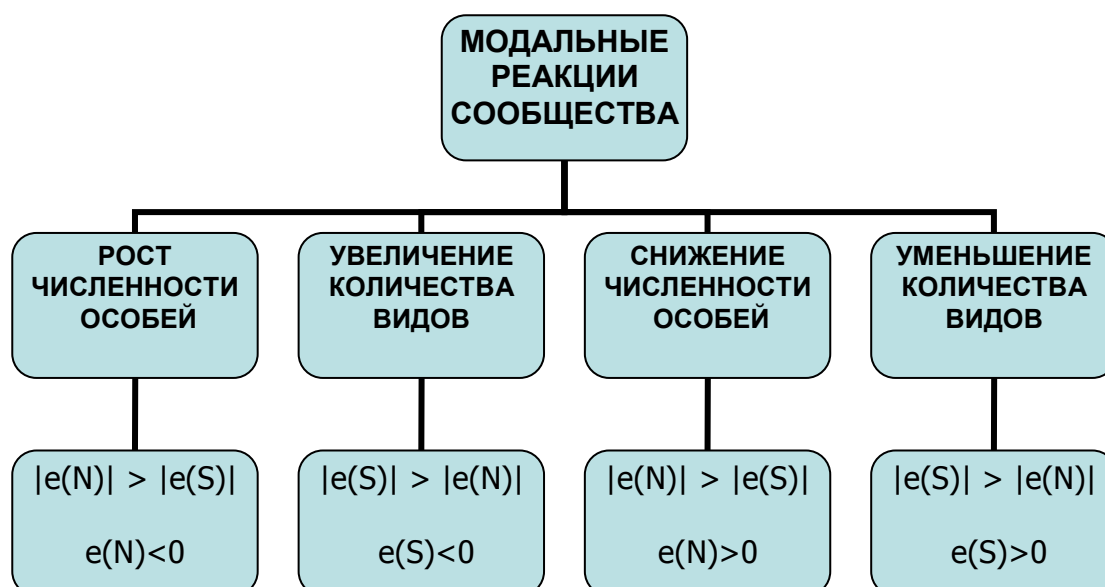


Рисунок 10. Реакции сообщества насекомых на загрязнение

1. Рост численности особей – наблюдается при  $|e(N)| > |e(S)|$ ,  $e(N) < 0$ . Такая реакция более соответствует экосистеме на расстоянии 3000м от источника загрязнения.
2. Увеличение количества видов – при  $|e(S)| > |e(N)|$ ,  $e(S) < 0$  характеризует экосистему на расстоянии 2000м от источника загрязнения.
3. Снижение численности особей – при  $|e(N)| > |e(S)|$ ,  $e(N) > 0$ . Реакция в большей степени свойственная энтомокомплексам на расстоянии 200м от завода.
4. Уменьшение количества видов – при  $|e(S)| > |e(N)|$ ,  $e(S) > 0$ . Сообщество на расстоянии 1000м от завода.

Оба параметра системы изменяются одновременно, но результирующую степень ненадёжности двухфакторной системы можно определить суммарной эквивокацией обоих факторов (рис. 11).

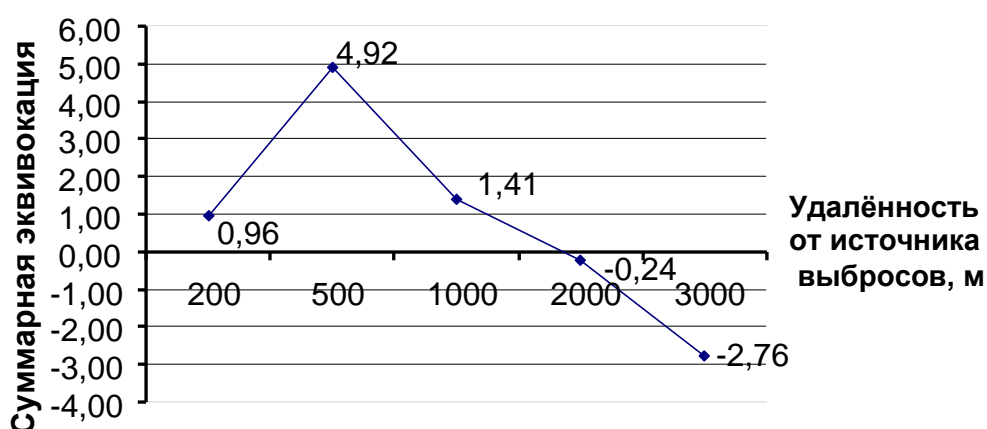


Рисунок 11. Изменение степени неустойчивости энтомокомплексов на трансекте (по показателю эквивокации)

Согласно представленным данным, максимальное воздействие на сообщество насекомых поллютанты оказывают в биотопе, расположенном на расстоянии 500м от источника загрязнения. Элементы системы энтомофауны здесь не являются взаимосвязанными, и она здесь практически не существует (табл. 3). В составе сообщества насекомых, населяющих этот биотоп, присутствуют лишь отдельные элементы, характерные для энтомофауны соседствующих с ним биотопов. Это во многом объясняет развивающиеся здесь процессы деградации энтомосообщества. По мере удаления от зоны глубокой экологической деградации (500м) показатели структурной энтропии и ИПВ начинают снижаться, а устойчивость системы увеличивается. Увеличение негативного влияния техногенного загрязнения на энтомокомплексы происходит в ряду 3000м, 2000м, 200м, 1000м, 500м и количественно соответствует увеличению выбросов, но система реагирует качественно по-разному. Отсюда следует, что по мере увеличения техногенной нагрузки реакция экосистемы претерпевает изменение по следующей цепи: рост численности особей -> увеличение количества видов -> снижение численности особей -> снижение количества видов. Качественная неоднородность реакции отражается и в ступенчатой динамике экологических индексов.

### Специфика состояния и устойчивость отдельных семейств

Анализ разнообразия отряда *Coleoptera* показал, что ряд семейств в его составе достаточно чувствителен к содержанию в среде поллютантов. Так, индекс Менхиника, рассчитанный для семейства *Chrysomelidae* претерпевает почти двукратное снижение на участке трансекты от 3000м до 2000м (табл. 3), для *Cerambycidae* такое снижение характерно на участке от 2000м до 1000м. С семейством *Curculionidae* то же явление происходит на участке от 1000м до 500м от завода, что позволяет использовать указанные семейства в качестве индикаторов загрязнения. Устойчивость к действию поллютантов уменьшается в ряду *Curculionidae*, *Cerambycidae*, *Chrysomelidae*.

Т а б л и ц а 3.

Разнообразие семейств *Coleoptera* в зависимости от степени загрязнения

Семейство	Индекс Менхиника $D_{Mn}$				
	200м	500м	1000м	2000м	3000м
<b>Chrysomelidae</b>	1,3	1,7	1,7	2,4	4,5
<b>Curculionidae</b>	2,0	1,7	3,1	2,3	2,1
<b>Cerambycidae</b>	2,4	0	1,7	3,5	2,0
Сумма $D_{Mn}$	5,7	3,4	6,5	8,2	8,6

Сумма индексов видового богатства Менхиника по этим семействам для любого биотопа является показателем, находящимся в обратной зависимости от степени загрязнения, и может характеризовать состояние энтомофауны (рис. 12).

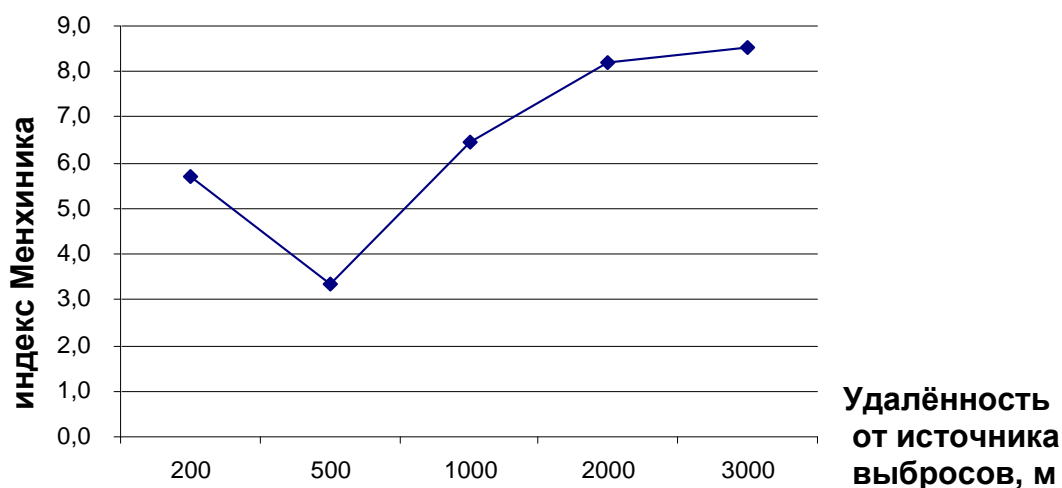


Рисунок 12. Изменение суммарного индекса Менхиника (для указанных семейств) при удалении от источника выбросов

График отражает тот факт, что на расстоянии 500м от завода влияние поллютантов почти в 3 раза выше, чем на 3000м и разнообразие всех трёх семейств-индикаторов на данном участке трансекты крайне низко. По мере удаления от завода загрязнение пропорционально ослабевает.

#### Анализ ранговых распределений для набора показателей состояния энтомофауны

При определении качественного состояния энтомокомплексов на трансекте выявлена необходимость оценки других разнородных параметров, имеющих несопоставимые количественные характеристики. Чтобы получить возможность сравнить значимость таких параметров, целесообразно ранжировать оцениваемые энтомокомплексы по отношению к каждому показателю (рис 13).

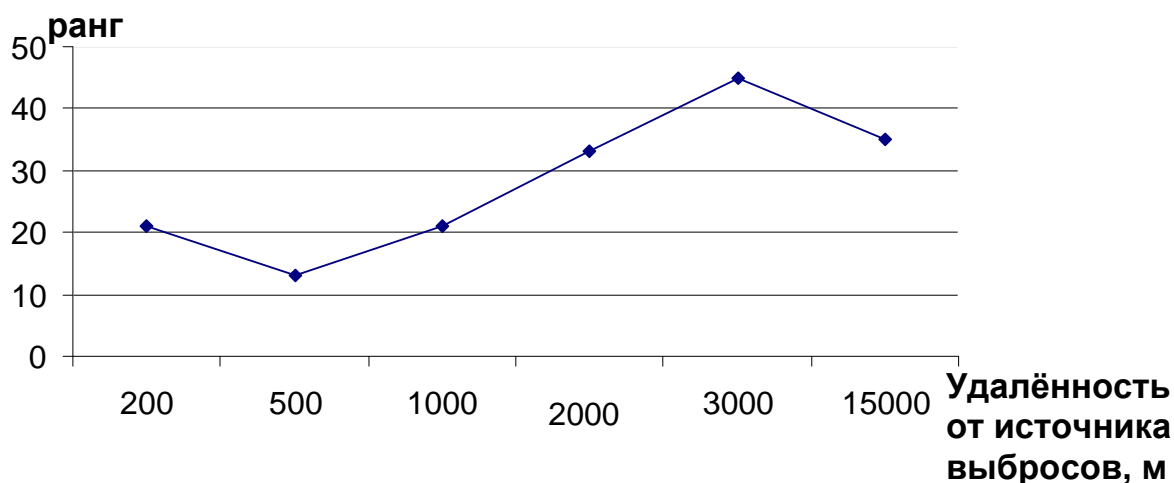


Рисунок 13. Ранговая оценка состояния энтомокомплексов на трансекте

Для ранговой оценки состояния населения насекомых в отдельных биотопах нами были использованы следующие параметры, характеризующие состояние энтомосообществ: количество видов в биотопе, численность особей, количество семейств, средняя численность доминирующего вида, доля палеарктических видов, произведение индексов общего разнообразия, сумма коэффициентов Жаккара для каждого биотопа по отношению к остальным, сумма показателей двухлетней и трёхлетней встречаемости.

Полученный результат подтвердил данные об особенностях состояния сообществ насекомых в санитарно-защитной зоне волгоградского алюминиевого завода.

## ВЫВОДЫ

1. Видовой состав населения насекомых в санитарно-защитной зоне Волгоградского алюминиевого завода представлен 201 видом из 10 отрядов. В формировании фауны ведущую роль играют отряды *Coleoptera* (48,3% от общего видового состава) и *Heteroptera* (13,9%). Отряд *Coleoptera* представлен 17 семействами, среди которых по видовому разнообразию выделяются *Curculionidae* (20,1% видов) и *Chrysomelidae* (20,1%). Среди *Heteroptera* наиболее многочисленны *Pentatomidae* и *Miridae* (по 21,4%). Зоогеографический состав фауны представлен в основном (более 80%) видами с широкими ареалами.

2. В локальных местообитаниях загрязнённой территории формируются специфические по структуре комплексы видов насекомых: для зоны максимального техногенного воздействия характерен обеднённый вариант сообщества (74 вида); с уменьшением степени загрязнения происходит повышение числа видов в сообществах (на 13,5 – 36,6%), и особенно выражено развитие видового богатства (60,8%) в зоне слабого загрязнения. Изменение таксономического разнообразия происходит за счёт отрядов *Coleoptera*, *Hymenoptera* и *Heteroptera*.

3. Экологическая структура населения насекомых в техногенно загрязнённых местообитаниях с повышением степени воздействия становится менее сбалансированной. Соотношение трофических групп насекомых изменяется в пользу фитофагов. Уменьшаются значения индексов разнообразия и выравненности сообществ, показания индекса доминирования возрастают. Показатели фаунистического сходства локальных сообществ возрастают по мере ослабления техногенного пресса.

4. Изменение показателей структурной энтропии и эквивокации в зоне максимального загрязнения (500м) иллюстрирует деградацию энтомосообщества на фоне утраты устойчивости. Уменьшение значений энтропийных показателей происходит по мере удаления от источника загрязнения. Стимулирующее действие малых доз поллютантов в зоне слабого загрязнения определяет максимальную упорядоченность системных составляющих. Снижение разнообразия энтомокомплексов в СЗЗ проявляется

на расстоянии до 2000м от источника загрязнения. Выявленные закономерности свидетельствуют о ключевой роли техногенного загрязнения в изменении разнообразия населения насекомых в СЗЗ.

5. Использование принципа Ле-Шателье – Брауна позволяет наиболее полно объяснить ступенчатость изменений состояния населения насекомых в относительно закрытых по параметру загрязнения системах (квазиостровной эффект) и спрогнозировать дальнейшие преобразования сообществ с учётом степени ненадёжности системы.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Публикации в рекомендованных ВАК изданиях:***

1. Богодухов П.М. Влияние выбросов алюминиевого производства на энтомофауну. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 196. – СПб.: СПбГЛТА, 2011. – С. 195 – 202.
2. Богодухов П.М. Биоразнообразие энтомофауны в санитарно-защитной зоне Волгоградского алюминиевого завода // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2013. - 4(14). С. 4-11.
3. Богодухов П.М. Экологическая характеристика энтомофауны в санитарно-защитной зоне Волгоградского алюминиевого завода // Проблемы региональной экологии. – М.: Изд. дом «Камертон», 2013, №1. С. 91-94.

### ***Другие публикации:***

1. Богодухов П.М. Влияние техногенного загрязнения на лесопатологическое состояние городских насаждений. // Эколого-экономические оценки регионального развития: материалы круглого стола, г. Волгоград, 30 марта 2009/ ГОУ ВПО «ВолГУ» - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009, С. 212- 216.
2. Богодухов П.М. Влияние выбросов производства алюминия на состояние энтомокомплексов городских насаждений. // Экология, эволюция и систематика животных: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Рязань: НП «Голос губернии». 2009. С. 45 – 47.
3. Богодухов П.М. Особенности состояния древостоев и связанных с ними энтомокомплексов под действием выбросов производства алюминия. // Первые Международные Беккеровские чтения. Сборник научных трудов по материалам конференции. 27-29 мая 2010. Волгоград. В 2 частях. Часть 2. Под ред. д.б.н., проф. В.А. Сагалаева. – С. 209 – 211.
4. Богодухов П.М. Состояние защитных лесонасаждений в условиях техногенного загрязнения. // Научная концепция нового поколения: Сборник научных статей VI Международной конференции, г. Волгоград, 5-8 августа 2011. – Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2011. С.47-50.

5. Богодухов П.М. Оценка состояния энтомофауны санитарно-защитной зоны Волгоградского алюминиевого завода. // Вестник ВолГУ, секция «Экология» г. Волгоград, 2012/ ГОУ ВПО «ВолГУ» - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2012. С. 113- 116.
6. Богодухов П.М. Использование некоторых семейств Coleoptera в оценке влияния производства алюминия на энтомофауну // Наука XXI века: новый подход: Материалы V Международной научно-практической конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. Секция «Экология». 20-21 февраля 2013 г., г. Санкт-Петербург. – С. 55-58.
7. Богодухов П.М. Применение информационного анализа и принципа Лешателье в оценке состояния энтомофауны в условиях техногенного загрязнения // «Актуальные проблемы естественных и математических наук»: материалы международной заочной научно-практической конференции. (04 марта 2013 г.) — Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. — С.94-99.



Подписано в печать 11.10.2013  
Заказ 12. Тираж 100 экз. Объем 1 печ. л.  
Бумага офсетная.

400062, г. Волгоград – 62, Университетский проспект, 97, а/я 2153  
Печатно-множительное бюро ГНУ ВНИАЛМИ





